

## Estudo de Detritos Espaciais: Mitigação Preventiva

Giovanna M. C. Alves<sup>1</sup>, Denilson P. S. Santos<sup>2</sup>, Crystopher C. Brito<sup>3</sup>

FESJ/UNESP, São João da Boa Vista, SP,

Jorge K. S. Formiga<sup>4</sup>

ICT/UNESP, São José dos Campos - SP

Detritos espaciais artificiais, também denominados de detritos orbitais, segundo definição adotada pela Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC) em seu Mitigation Guidelines, são todos os objetos feitos pelo homem, incluindo fragmentos e elementos dos mesmos, na órbita da Terra ou reentrando na atmosfera, que não são funcionais [1, 2].

A Agência Espacial Europeia (European Space Agency - ESA), em seu ESA's Annual Space Environment Report de 2021, acompanha a definição estabelecida pelo IADC.

A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (National Aeronautics and Space Administration - NASA), em seu **NASA's Efforts to Mitigate the Risks Posed by Orbital Debris de 2021** considera uma definição similar: detritos orbitais são definidos como objetos feitos pelo homem no espaço que não servem mais a uma finalidade útil, como satélites desativados e peças de espaçonaves.

Esses detritos - também conhecidos como "lixo espacial" - persistem acima da atmosfera da Terra por anos até decaírem, desorbitarem, explodirem ou colidirem com outro objeto, criando mais detritos. Assim, trataremos os detritos espaciais (ou lixo espacial) como objetos criados ou não pelos humanos e que se encontram em órbita ao redor da Terra, tais como estágios de foguetes, rochas pequenas ou fragmentos de uma explosão, mas que não desempenham mais nenhuma função útil.

O potencial destrutivo de vários fragmentos, o comportamento, formato geométrico desta nuvem, a reentrada na atmosfera terrestre e os efeitos das perturbações na órbita destes corpos foram analisados neste trabalho. Estes objetos estão orbitando o planeta Terra em diferentes regiões, que podem ser classificadas por faixas de altitude: LEO - **Low Earth Orbits**, MEO - **Medium Earth Orbits** e GEO - **Geosynchronous Earth Orbits** [3, 4].

Os tratados das Nações Unidas consideram o espaço exterior como um "Comum Global" de humanidades como oceanos, atmosfera ou antártico. O tema da sustentabilidade espacial tem ganhado cada vez mais reconhecimento entre Estados e organizações intergovernamentais [5, 6]. O uso do espaço exterior fornece uma aplicação única e um serviço de recolha de dados essenciais que lida com a observação da Terra e monitorização climática, bem como telecomunicações, navegação e exploração espacial humana [7]. No entanto, 46 anos de exploração espacial levaram a uma crescente preocupação de sustentabilidade no ambiente espacial: mais de 35.000 objetos feitos pelo homem com mais de 10 cm (cerca de 10.000 toneladas), estão a orbitar a Terra, mas apenas 15% são naves espaciais operacionais [8]. Os objetos restantes são detritos espaciais descontrolados, o que é hoje um perigo significativo e constante para todas as missões espaciais. Assim, espera-se que o impacto ambiental global do sector espacial no espaço exterior aumente devido à limitação do conjunto atual de diretrizes e normas de Mitigação de Detritos Espaciais (SDM).

---

<sup>1</sup> giovanna.mc.alves@unesp.br

<sup>2</sup> denilson.santos@unesp.br

<sup>3</sup> crystopher.brito@unesp.br

<sup>4</sup> jorge.formiga@unesp.br

Por analogia aos impactos ambientais convencionais, a potencial liberação de detritos ou geração de fragmentos pode ser considerada como a emissão de um estressor ambiental que danifica o recurso "natural" orbital que suporta as atividades espaciais [9].

Este trabalho propõe o estudo do ciclo de vida de detritos espaciais; conjuntamente à simulação de uma nuvem de detritos espaciais, cada partícula analisada individualmente, no problema restrito de três corpos (PRTC), em que a massa de cada partícula é desprezável quando comparada à massa dos primários (Terra-Lua). O comportamento da nuvem  $m_i$  no campo gravitacional dos primários  $m_1$  e  $m_2$  sujeitos à ação de forças perturbativas (Arrasto atmosférico, achatamento  $J_2$ ,  $J_3$  e  $C_{22}$ ).

## Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) #2022/15075–5, #2023/01391 – 5, Projeto FINEP: 0527/18.

## Referências

- [1] Martha Mejía-Kaiser. **IADC Space Debris Mitigation Guidelines**. 2020. DOI: 10.1163/9789004411029\_014.
- [2] H. Klinkrad. “On-orbit risk reduction - Collision avoidance”. Em: **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering** 221 (6 2007). ISSN: 09544100. DOI: 10.1243/09544100JAER0171.
- [3] Alessandra Celletti, Christos Efthymiopoulos, Fabien Gachet, Cătălin Galeş e Giuseppe Pucacco. “Dynamical models and the onset of chaos in space debris”. Em: **International Journal of Non-Linear Mechanics** 90 (2017), pp. 147–163.
- [4] Jorge K S Formiga, Denilson P S Santos e Antonio F B A Prado. “Resonant Orbits for the Space Debris”. Em: **International Journal Of Theoretical And Applied Mechanics** 4 (2019), pp. 1–7.
- [5] Claudio Portelli, Fernand Alby, Richard Crowther e Uwe Wirt. “Space Debris Mitigation in France, Germany, Italy and United Kingdom”. Em: **Advances in Space Research** 45 (8 2010). ISSN: 02731177. DOI: 10.1016/j.asr.2009.12.009.
- [6] Peter Martinez. “The UN COPUOS Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities”. Em: **Journal of Space Safety Engineering** 8 (1 2021). ISSN: 24688967. DOI: 10.1016/j.jsse.2021.02.003.
- [7] Jun Yang, Peng Gong, Rong Fu, Minghua Zhang, Jingming Chen, Shunlin Liang, Bing Xu, Jiancheng Shi e Robert Dickinson. “The role of satellite remote sensing in climate change studies”. Em: **Nature Climate Change** 3 (10 2013). ISSN: 1758678X. DOI: 10.1038/nclimate1908.
- [8] Holger Krag. “A sustainable use of space”. Em: **Science** 373 (6552 2021). ISSN: 10959203. DOI: 10.1126/science.abk3135.
- [9] Jorge Kennety Silva Formiga, Denilson Paulo Souza dos Santos, Fabiana A. Fiore, Rodolpho Vilhena de Moraes e Antonio Fernando Bertachini A. Prado. “Study of collision probability considering a non-uniform cloud of space debris”. Em: **Computational and Applied Mathematics** 39 (1 mar. de 2020), p. 21. ISSN: 2238-3603. DOI: 10.1007/s40314-019-0997-z. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s40314-019-0997-z>.